

КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И НЕФТЕГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
Кафедра региональной геологии и полезных ископаемых

В.Г. ИЗОТОВ

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РУД.
ЧАСТЬ 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РУДНЫХ
МИНЕРАЛОВ ПОД МИКРОСКОПОМ

Методическое пособие

Казань – 2015

*Принято на заседании
кафедры региональной геологии и полезных ископаемых
Протокол №6 от 10 июня 2015 года*

Рецензенты:

доктор геолого-минералогических наук,
профессор кафедры минералогии и литологии ИГиНГТ КФУ **В.П. Морозов;**
доктор геолого-минералогических наук,
профессор кафедры минералогии и литологии ИГиНГТ КФУ **А.И. Бахтин**

Изотов В.Г.

Методы исследования руд. Часть 2. Определение рудных минералов под микроскопом / В.Г. Изотов. – Казань: Казан. ун-т, 2015. – 25 с.

Методическое пособие предназначено для использования в ходе лабораторных занятий студентов специальности «Геология» по курсу «Методы исследования руд».

© Изотов В.Г., 2015

© Казанский университет, 2015

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| 1. Методы качественного определения физических свойств минералов в отраженном свете | 4 |
| 2. Методы качественного определения анизотропности | 7 |
| 3. Методы качественного определения отражательной способности минералов | 9 |
| 4. Определение отражательной способности анизотропных минералов (двуотражения) | 11 |
| 5. Методы определения цвета рудных минералов в отраженном свете | 12 |
| 6. Методы определения внутренних рефлексов | 15 |
| 7. Применение иммерсии при изучении оптических свойств рудных минералов в отраженном свете | 18 |
| 8. Методы определения твердости минералов в отраженном свете | 19 |
| Приложение. Рудные минералы в отраженном свете | 21 |
| Список литературы | 25 |

1. МЕТОДЫ КАЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МИНЕРАЛОВ В ОТРАЖЕННОМ СВЕТЕ

Главнейшие физические свойства минералов, обычно используемые для их диагностики под микроскопом в отраженном свете, следующие: *отражательная способность, явления поляризации, цвет, внутренние рефлексы, твердость*. Такие свойства, как *магнитность и электропроводность*, являются дополнительными и приводятся для определения только некоторых минералов (магнитность — характерное свойство магнетита, пирротина, якобсита и др.; электропроводность характерна для графита, в отличие от молибденита, и т. д.).

Для минераграфической работы необходимо иметь обыкновенный поляризационный микроскоп и рефлектор для получения вертикально падающего света, называемый *опак-иллюминатором*. Опак-иллюминатор представляет собой металлическую трубку длиной 3 см, которую ввинчивают между тубусом микроскопа и объективом. В средней части этой трубки вставлен рефлектор — стеклянная пластинка или призма. В стенке трубки имеется круглый прорез — окно opak-иллюминатора; к нему наглухо прикреплена короткая металлическая трубка с ирисовой диафрагмой, николем (для работы в поляризованном свете) и осветителем (электрическая лампа).

Пучок света, направленный от осветителя в окно opak-иллюминатора (рис. 1), встречая на своем пути рефлектор (стеклянную пластинку, установленную под углом 45° к падающему свету, или стеклянную призму), отражается от него вниз, затем проходит через объектив и падает на полированную поверхность шлифа. От нее свет отражается вверх, проходит через объектив, затем через стеклянную пластинку или призму, далее через окуляр и попадает в глаз наблюдателя.

Существуют opak-иллюминаторы различных конструкций.

В одном типе (по Наше) свет падает на стеклянную трехгранную призму с широкой покрытой серебром гранью. В таком opak-иллюминаторе весь свет, попадающий на призму от источника света, отражается вниз. Призма занимает

половину сечения трубки опак-иллюминатора, поэтому только часть отраженного от плоскости шлифа пучка света достигает глаза наблюдателя.

В другом типе опак-иллюминаторов (по Беке) пучок света падает на наклонно поставленную стеклянную пластинку, которая занимает все сечение трубки иллюминатора. Такой опак-иллюминатор дает ровное освещение, но на полированную поверхность шлифа попадает только часть света, направляемого на стеклянную пластинку.

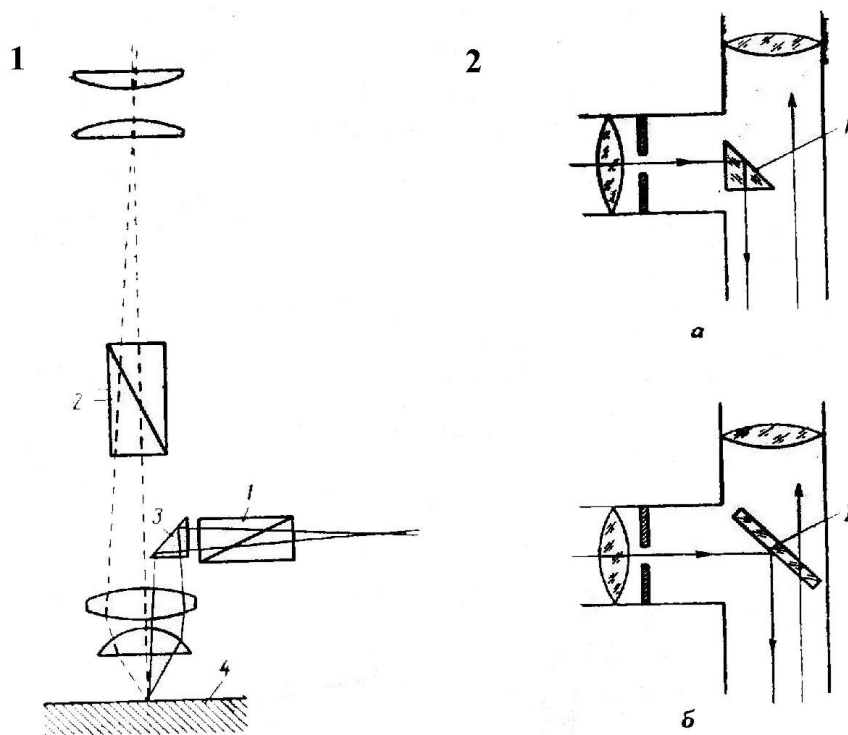


Рис. 1. 1) Схема хода лучей в рудном поляризационном микроскопе. 1 – поляризатор; 2 – анализатор; 3 – отражающая призма; 4 – шлиф. 2) Системы опак-иллюминаторов. а – система устройства опак-иллюминатора Наше; б – система устройства опак-иллюминатора по Беке. 1 – призма; 2 – стеклянная пластинка

Остальной свет поглощается стеклянной пластинкой и стенками трубки иллюминатора. Часть света теряется после отражения от полированного шлифа. В результате потерь приблизительно одна четверть первоначальной силы света может быть использована при микроскопическом наблюдении.

Резкость изображения при работе с опак-иллюминатором со стеклянной пластинкой значительно выше, чем при работе с призматическим опак-иллюминатором. Поэтому им рекомендуется пользоваться при работе с большим увеличением.

Для исследования руд используются *специальные минераграфические микроскопы*. Столики таких микроскопов могут перемещаться в вертикальном направлении, что дает возможность изучать не только шлифы, но и штуфные полировки.

При изучении микроструктуры руд, применяются микроскопы горизонтальные и вертикальные. Основным преимуществом этих микроскопов является то, что они снабжены фотокамерами, позволяющими в процессе работы производить микросъемки.

Объектом для исследования руд в отраженном свете служат *полированные шлифы (анишлифы)*. При изучении прозрачных и полупрозрачных минералов иногда применяют прозрачно-полированные шлифы, которые одновременно можно изучать в проходящем свете с помощью обычного петрографического метода.

Полированные шлифы прикрепляют к толстому покровному стеклу или металлической пластинке с помощью пластилина. Параллельность верхней полированной плоскости шлифа и плоскости пластинки достигается с помощью *ручного пресса*. При изучении руд под микроскопом в отраженном свете очень большое значение имеет строго горизонтальное положение полированной плоскости шлифа, следовательно, эту операцию необходимо проводить наиболее тщательно. Пластинку со шлифом, приведенным в горизонтальное положение, помещают на столик микроскопа.

Правильность установки шлифа можно проверить следующим образом. Если шлиф, смонтированный на стеклянной пластинке, положить на столик микроскопа и установить рефлектор опак-иллюминатора так, чтобы поверхность шлифа была ярко и полно освещена, то при повороте столика на 360° в степени освещения шлифа существенных изменений не произойдет. Если шлиф установлен строго горизонтально, то при повороте столика на 180° интенсивность освещенности полированной поверхности шлифа уменьшится.

2. МЕТОДЫ КАЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ АНИЗОТРОПНОСТИ

Необходимо отметить, что анизотропию рудных минералов можно наблюдать только в хорошо полированных шлифах, иначе даже у изотропных минералов могут появиться явление эллиптической поляризации, возникающее в результате многократного отражения света от шероховатой поверхности шлифа.

Для наблюдения поляризации у минералов в отраженном свете применяют обычные поляризационные микроскопы, снабженные опак-иллюминаторами с поляризатором (рис. 2). Поляризатор расположен перед окном опак-иллюминатора между осветителем и рефлектором и устанавливают так, чтобы плоскость колебания поляризованного света, прошедшего через поляризатор, была строго параллельна плоскости падения отражающей поверхности призмы или стеклянной пластинки иллюминатора.

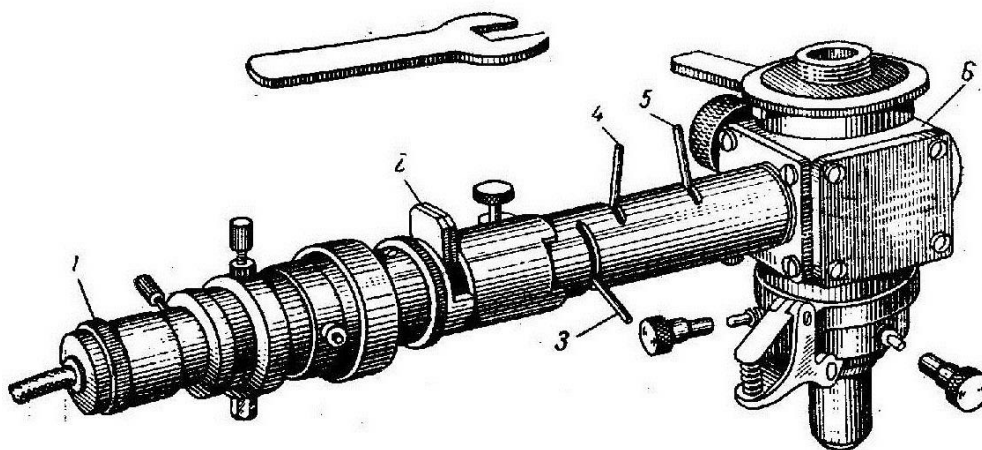


Рис. 2. Опак-иллюминатор. 1 - осветительное устройство (лампочка); 2 - светофильтр; 3 - поляризатор; 4 - полевая линза; 5 - ирисовая диафрагма; 6 - опак-иллюминатор с призмой и стеклянной пластинкой

Установка оптической системы микроскопа для работы в поляризованном свете ведется следующим образом.

На столик микроскопа помещают полированный шлиф какого-нибудь изотропного минерала с низкой отражательной способностью (например, галенит). Часто для этой цели используют хорошо отполированную стеклянную

пластинку. В тубус микроскопа вводится анализатор, а поляризатор вращают до появления полной темноты, которая должна оставаться постоянной при повороте столика на 360° .

Для выявления поляризации у минералов, особенно слабо анизотропных, работу рекомендуется вести с николями (поляризатором и анализатором), несколько выведенными из скрещенного положения. В этих случаях предварительную установку микроскопа проводят по какому-нибудь известному ясно анизотропному минералу (например, стибниту, буланжериту, пирротину), добиваясь наиболее резкого эффекта поляризации.

На практике применение поляризованного отраженного света сводится в основном к определению того, является ли излучаемый минерал изотропным или анизотропным. Внутри диагностических групп определяется также и степень поляризации — анизотропные, сильно анизотропные и слабо анизотропные.

При определении степени анизотропности минерала в шлифе выбирается место, где имеются различно ориентированные зерна минерала; в поляризованном свете одни из них будут темными, другие светлыми. Затем вращают столик микроскопа; при полном повороте столика будут наблюдаться четыре положения минимума интенсивности освещения каждого зерна минерала через каждые 90° . Из четырех положений обычно два резко выражены — темное и светлое, а два — слабее. У сильно анизотропных минералов будут заметны все четыре изменения в освещении зерен; у слабо анизотропных невооруженным глазом можно наблюдать только два.

У прозрачных минералов определению поляризации мешают внутренние рефлексy. Однако если вращать поляризатор, выводя его из скрещенного положения, можно наблюдать момент, когда внутренний рефлекс почти не будет виден.

3. МЕТОДЫ КАЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ МИНЕРАЛОВ

Выше было отмечено, что отражательная способность характеризует степень отражения света, падающего на полированную поверхность минерала.

В определительных таблицах все рудные минералы разбиты *на три группы*:

- к первой группе отнесены минералы, отражательная способность которых больше, чем у галенита;
- ко второй – минералы, отражательная способность которых равна или ниже, чем у галенита, но не выше, чем у сфалерита;
- к третьей группе отнесены минералы, отражательная способность которых равна или меньше, чем у сфалерита.

При определении отражательной способности минерала в полированном шлифе поступают следующим образом. Ищут в шлифе место, где исследуемый минерал попал в одно поле зрения с эталонным минералом, и определяют, какой из них светлее или темнее эталонного минерала. Если эталонный (галенит) минерал темнее неизвестного минерала, отражательная способность неизвестного минерала относится к первой группе; если светлее или равна — ко второй, если же темнее или равна сфалериту — к третьей.

Если в шлифе с определяемым минералом нет эталонных минералов и нет известных минералов, близких по отражательной способности к эталонному минералу (галениту), то поступают следующим образом. Пришлифовывают одну из боковых сторон изучаемого шлифа и шлифа с минералом-эталонном. Затем прикладывают один к другому оба шлифа по пришлифованной поверхности и монтируют с помощью ручного пресса так, чтобы полированные поверхности обоих шлифов лежали в одной плоскости (рис. 3). Необходимо также, чтобы оба минерала попадали в поле зрения микроскопа или были по возможности близко друг от друга. После этого отражательную способность изучаемого минерала сравнивают с минералом-эталонном, как было описано.

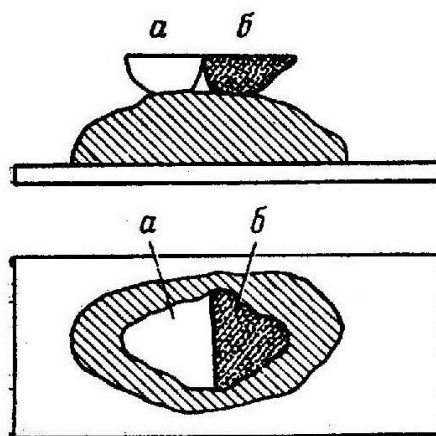


Рис. 3. Сравнение отражательной способности минерала с эталонным минералом.
А – шлиф с эталонным минералом; Б – шлиф с определяемым минералом

Более совершенным методом сравнения отражательной способности минерала с эталоном, если в поле зрения нет известного по отражательной способности минералу, является метод сравнения с помощью камеры сравнения. Камера состоит из металлического футляра, внутри которого помещены четыре призмы. Две поставлены посередине рядом и две — по краям его непосредственно над окулярами микроскопов.

Если отражательная способность у минерала-эталона меньше, чем у неизвестного минерала, то последний по сравнению с первым будет более темным и тусклым. Измерение отражательной способности нужно проводить в монохроматическом свете (желтом, оранжевом и зеленом). Светофильтры помещают над окуляром сравнительной камеры микроскопа.

Сравниваемые минералы будут в одинаковых условиях, что облегчает оценку их отражательной способности. Нужно помнить, что выбор светофильтра при этом имеет большое значение: отражательную способность минералов, у которых в отраженной волне преобладает красный цвет (золото, медь, борнит и т. д.), нужно определять с красным светофильтром — в этом свете таким минералам свойственна наибольшая отражательная способность; с синим или зеленым светофильтрами их отражательная способность будет наименьшей и, наоборот, у минералов, у которых в отраженной волне преобладают синие цвета, максимальная отражательная способность будет с синим или зеленым светофильтрами, а минимальная — с красным и т.д.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ АНИЗОТРОПНЫХ МИНЕРАЛОВ (ДВУОТРАЖЕНИЯ)

Отражательная способность изотропных минералов имеет одно значение и не зависит от разрезов кристаллических зерен минерала, в шлифе.

Выше отмечалось, что свойство минерала отражать от своей полированной поверхности свет определенной интенсивности можно выразить следующей формулой, где R – общая отражательная способность; R_o , R_e – отражательная способность для луча обыкновенного и необыкновенного; R_p – отражательная способность меньшая; R_m – отражательная способность средняя; R_g – отражательная способность большая:

$$R = \frac{(n-1)^2 + n^2 \cdot k^2}{(n+1)^2 + n^2 \cdot k^2},$$

$$R_e = \frac{(n_e-1)^2 + n_e^2 \cdot k_e^2}{(n_e+1)^2 + n_e^2 \cdot k_e^2},$$

$$R_o = \frac{(n_o-1)^2 + n_o^2 \cdot k_o^2}{(n_o+1)^2 + n_o^2 \cdot k_o^2},$$

$$R_p = \frac{(n_p-1)^2 + n_p^2 \cdot k_p^2}{(n_p+1)^2 + n_p^2 \cdot k_p^2},$$

$$R_m = \frac{(n_m-1)^2 + n_m^2 \cdot k_m^2}{(n_m+1)^2 + n_m^2 \cdot k_m^2},$$

$$R_g = \frac{(n_g-1)^2 + n_g^2 \cdot k_g^2}{(n_g+1)^2 + n_g^2 \cdot k_g^2}.$$

Для изотропных минералов R имеет, только одно значение; для минералов одноосных — два значения: наибольшее и наименьшее.

Поэтому для характеристики отражательной способности анизотропного минерала необходимо определять его наибольшую, наименьшую и среднюю отражательную способность.

Известно много минералов (например, молибденит, графит, валлериит), у которых отражательная способность для R_p , R_m и R_g или R_e и R_o резко отличается. О таких минералах говорят, что они обладают *двуотражением*. Степень двуотражения характеризуется разностью между наибольшими и наименьшими значениями отражательной способности: для одноосных R_e — R_o , для двуосных R_g — R_p , или R_m — R_p , или R_g — R_m .

Двуотражение определяют в поляризованном отраженном свете при одном поляризаторе. При этом для одноосных минералов часто можно подойти к определению оптического знака минерала. Так, минерал оптически отрицателен, если R_e меньше R_0 , и положителен, если R_e больше R_0 .

По степени проявления двуотражения минералы можно подразделить на две группы: 1) сильно двуотражающие (двуотражение выявляется отчетливо) и 2) слабо двуотражающие (двуотражение можно наблюдать только с помощью иммерсионного объектива).

5. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦВЕТА РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ В ОТРАЖЕННОМ СВЕТЕ

Цвет минералов в отраженном свете под микроскопом служит одним из наиболее существенных диагностических признаков. Его различают по яркости (отражательная способность минерала) и по цвету (дисперсия отражательной способности). Для минералов с сильно выраженным цветовым тоном цвет является одним из главных диагностических признаков. Однако прежде чем приступить к изучению шлифа, нужно его тщательно протереть на замше или куске сукна, чтобы стереть пыль и тонкие пленки, которые часто образуются на легко окисляющихся минералах и мешают определению их цвета.

Цвет рудных минералов устанавливают методом сравнения с эталонными минералами. В качестве эталонных минералов используют галенит и сфалерит (эталонные бесцветные минералы). Строго говоря, в отраженном свете нет бесцветных минералов, так как световая волна, отражаясь от поглощающих сред, всегда приобретает цветовой оттенок, однако интенсивность цветового тона у бесцветных минералов выражена настолько слабо, что их условно можно считать бесцветными.

Минералы по цвету в отраженном свете разбиты на две группы: цветные (цветной тон отчетливо наблюдаем) и бесцветные, такие, как галенит и сфалерит. С галенитом сравнивают окраску минералов двух первых диагности-

ческих групп по отражательной способности, сфалерит используется для минералов, отражательная способность которых не больше сфалерита.

Методика определения цвета рудных минералов в отраженном свете сводится к следующему. Если в полированном шлифе, поблизости от неизвестного минерала имеется минерал-эталон, то можно довольно точно определить не только его цвет, но и слабые оттенки. Если в шлифе такого минерала нет, то поступают следующим образом. Одну из боковых сторон изучаемого шлифа и боковую сторону шлифа с минералом-эталоном пришлифовывают, затем пришлифованные плоскости прикладывают друг к другу и монтируют с помощью ручного прессы так, чтобы полированные поверхности обоих шлифов лежали в одной плоскости. Необходимо также, чтобы оба минерала попадали в поле зрения микроскопа или по возможности располагались близко друг от друга.

Сравнивая изучаемый минерал с минералом-эталоном, можно определить его окраску и особенно цветовой оттенок минерала так называемой бесцветной группы. Определение оттенка бесцветных минералов в отраженном свете облегчается и уточняется применением красного, желтого и зеленого светофильтров, как уже было отмечено при определении отражательной способности цветных минералов. При зеленом светофильтре наибольшая отражательная способность будет у минералов с зеленым и синим оттенком (пираргирит, прустит, буланжерит); при желтом — у минералов с желтым оттенком (пирит, марказит и др.); при красном светофильтре — у минералов с красным, розовым и оранжевым оттенком (арсенопирит, раммельсбергит, хлоантит и др.).

В определительных таблицах количественные значения отражательной способности приведены в зеленом, оранжевом и красном Монохроматических цветах, что дает возможность выяснить не только окраску минерала, но и незначительные оттенки бесцветных минералов.

Умение различать тонкие оттенки цвета минералов дается практикой. При правильном ведении работы эта способность развивается довольно скоро, что позволяет по памяти определять наиболее часто встречающиеся минералы, особенно те, для которых цвет служит довольно существенным диагностическим признаком.

Однако плохое качество полировки мешает определению цвета рудных минералов в отраженном свете. Так, халькозин, голубой при плохой полировке, является белым с голубоватым оттенком при хорошей; пирит – белый с желтоватым оттенком в хорошей полировке, в плохо отполированных шлифах имеет ясно выраженный желтый цвет.

Минералы обладают более светлыми окрасками и при сильных источниках света, и наоборот. Поэтому при определении окраски необходимо пользоваться источником света одной интенсивности и с одними и теми же светофильтрами.

Относительное определение цвета изучаемого минерала зависит также и от окраски окружающих его минералов. Так, халькопирит кажется ярко-желтым в присутствии пирита и галенита и зеленоватым — в присутствии самородной меди; теннантит кажется белым на фоне сфалерита или жильных минералов и серым — в присутствии галенита, и т. п.

Чтобы устранить элементы субъективности при определении цвета рудных минералов в отраженном свете, окраску изучаемых минералов всегда нужно сравнивать с эталонными минералами. Ниже приведены цвета некоторых рудных минералов в отраженном свете, которые могут быть использованы в качестве эталонов: 1) белый — галенит; 2) светло-серый — теннантит; 3) серый — сфалерит; 4) кремовый — пирротин; 5) желтый — халькопирит; 6) кремово-розовый — никелин; 7) синий — ковеллин.

После тренировки глаза на этих минералах можно перейти к сравнению эталонных цветов с цветами других минералов.

6. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВНУТРЕННИХ РЕФЛЕКСОВ

Изучая в отраженном свете прозрачные и полупрозрачные минералы (в полированных шлифах), можно часто наблюдать *внутренние рефлексy* – отражение света от внутренних частей минерала.

Внутренние рефлексy лучше наблюдать в косом свете, т.е. когда свет от источника направлен непосредственно на полированную поверхность минерала. И.С. Волынский отмечает, что при косом освещении шлифа лучи, падающие наклонно, встретив на своем пути полированное сечение непрозрачного минерала, отразятся в сторону и не попадут в глаз наблюдателя, поэтому такие минералы в косом свете будут совершенно темными. Лучи света, падающие на полированную поверхность прозрачного или полупрозрачного минерала, частично проникнут вглубь минерала. Если на пути этих лучей встретились включения непрозрачного минерала, трещина спайности или пузырек воздуха, они отразятся от них и попадут в глаз наблюдателя. Окраска их будет соответствовать окраске прозрачного минерала в проходящем свете.

Более совершенным методом анализа внутренних рефлексy является применение поляризованного отраженного света.

При изучении прозрачных и полупрозрачных минералов в отраженном свете при скрещенных николях одновременно улавливаются лучи, отраженные от полированной поверхности минерала, и лучи, отразившиеся изнутри минерала. Характер этих двух типов лучей легко установить, если постепенно поворачивать анализатор от 0° до 90° . Свет, отраженный от полированной поверхности, постепенно гасится анализатором, в то время как лучи света, отразившиеся изнутри минерала, не гасятся. При этом отчетливо будет выявлена их окраска. Это явление особенно ясно наблюдается у изотропных (прозрачных или полупрозрачных) минералов.

У прозрачных анизотропных минералов (аурипигмент, киноварь, малахит, церуссит и др.) эллиптически поляризованный свет мешает полностью погасить лучи, отраженные от поверхности минералов. Поэтому всегда глаз будет улавливать оба типа лучей. Лучи, отраженные изнутри, минерала, наиболее

отчетливо наблюдаются в нормальном положении кристаллов. Во всех других положениях одновременно будут наблюдаться лучи, отраженные и от полированной поверхности минерала, и изнутри.

Еще более отчетливо могут быть выявлены внутренние рефлексy с иммерсией. Применение иммерсии позволяет отчетливо наблюдать внутренние рефлексy даже у полупрозрачных минералов (гётита, ильменита, вольфрамитa и др.). У мелких зерен (менее 0,5 мм) и у малопрозрачных минералов внутренние рефлексy даже с применением иммерсии не всегда можно выявить.

Цвета внутренних рефлексов всегда являются дополнительными к оттенку минерала в отраженном свете. Так, серовато-белый с голубоватым оттенком в отраженном свете куприт обладает красными внутренними рефлексами; серый с розоватым оттенком в отраженном свете малахит — зелеными внутренними рефлексами и т. д.

Цвет порошка минерала соответствует цвету его внутренних рефлексов. Поэтому у слабо прозрачных минералов (ильменит, хромит, вольфрамит и др.) цвет внутренних рефлексов можно определять в порошке.

Порошок мягких минералов получают путем царапания полированной поверхности шлифа стальной иглой; порошок твердых минералов — с помощью острых осколков кварца или алмазной иглы.

Внутренние рефлексy в таких минералах можно довольно отчетливо наблюдать с иммерсией при скрещенных николях. Этим же способом определяют характер внутренних рефлексов в мелких зернах.

В определительных таблицах выделены две группы минералов: имеющие внутренние рефлексy и не имеющие их.

Внутренних рефлексов нет у минералов, отражательная способность которых выше галенита, и у минералов, которые обладают ясно выраженной окраской в отраженном свете (борнит, никелин, пирротин, халькопирит и др.).

7. ПРИМЕНЕНИЕ ИММЕРСИИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ В ОТРАЖЕННОМ СВЕТЕ

Если между фронтальной линзой объектива и полированной поверхностью шлифа поместить иммерсионную жидкость, показатель преломления которой больше воздуха, можно в значительной степени повысить разрешающую способность объектива. Вместе с этим увеличивается и четкость изображения.

Для работы с иммерсией обычно применяют кедровое масло с показателем преломления 1,515. Для учебных целей, при проведении лабораторных занятий, можно с успехом использовать очищенный глицерин. Необходимо только учесть, что показатель преломления у него 1,48, т. е. ниже, чем у кедрового масла. Преимуществом глицерина является то, что он бесцветен и легко стирается с поверхности шлифа.

Техника работы с иммерсией следующая. Иммерсионный объектив берут за оправу и поворачивают фронтальной линзой кверху. С помощью пипетки каплю иммерсионной жидкости накладывают на фронтальную линзу объектива. Объектив осторожно приводят в нормальное положение; капля иммерсионной жидкости при этом свисает с фронтальной линзы. Затем объектив вместе с каплей глицерина (нужно только, чтобы не упала капля) помещают на микроскоп, который должен быть поставлен в вертикальное положение. Тубус микроскопа с помощью кремальеры опускают до соприкосновения капли с полированной поверхностью шлифа. Окончательную центровку ведут с помощью винта.

При работе с иммерсией заметно уменьшается отражательная способность у прозрачных и полупрозрачных минералов; часто значительно увеличивается контрастность между R_1 и R_2 у анизотропных минералов. Эта особенность поведения минералов в иммерсионной среде в значительной степени облегчает обнаружение поляризации у слабо анизотропных минералов (халькопирит, бурнонит и др.). Применение иммерсии помогает определению внутренних рефлексов у прозрачных и полупрозрачных минералов при скрещенных

николях, когда погашены лучи света, отраженные от полированной поверхности минерала, а лучи внутреннего отражения видны более отчетливо.

С применением иммерсии увеличивается контрастность у абсорбирующих непрозрачных минералов, у слабо окрашенных и у ясно окрашенных минералов в отраженном свете. Контрастность еще больше увеличивается при применении монохроматического света, однако затрудняет определение явлений поляризации у прозрачных минералов внутренние рефлексy, которые не удается загасить даже при выводе анализатора из скрещенного положения.

8. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТВЕРДОСТИ МИНЕРАЛОВ В ОТРАЖЕННОМ СВЕТЕ

Твердостью минерала называется его способность оказывать сопротивление царапающему острию другого минерала или стальной иглы.

В лабораторной практике твердость минералов в полированных шлифах под микроскопом в отраженном свете определяют следующими методами:

- 1) путем царапания полированной поверхности минералов иглами определенной твердости;
- 2) по характеру рельефа минералов в полированных шлифах;
- 3) по качеству полировки минералов в шлифе.

Путем царапания полированной поверхности минерала стальной иглой выделяют минералы: низкой твердости — царапина образуется без нажима (галенит, молибденит); средней — царапина образуется с нажимом (халькопирит, сфалерит, теннантит) и высокой — даже при нажиме иглы не остается царапины (пирит, гематит). Твердость минералов можно определять также различными иглами известной твердости: из стали, железа, бронзы и меди, или применяя тонкие осколки минералов шкалы Мооса, вмонтированные в соответствующую оправу.

При определении твердости царапанием большую трудность обычно представляет выделение минералов средней твердости. А.Г. Бетехтин

предложил определять твердость рудных минералов в полированных шлифах под микроскопом в отраженном свете с помощью медной и стальной игл.

В определителе, принятом в настоящем руководстве, в группу низкой твердости (до 3, по Моосу) входят минералы, которые царапаются медной иглой; в группу средней твердости (от 3 до 5, по Моосу) — минералы, которые не царапаются медной иглой, но царапаются стальной; в группу высокой твердости (выше 5, по Моосу) — минералы, которые не царапаются стальной иглой.

Твердость определяется также и по характеру рельефа минералов. Более твердые минералы обладают положительным рельефом, поэтому в шлифе они выглядят более рельефными и кажутся выпуклыми. Для минералов низкой и средней твердости характерен отрицательный рельеф, и в шлифе они кажутся погруженными.

Надежный способ определения незначительной разницы в твердости двух соприкасающихся минералов (сфалерит — халькопирит, борнит — халькопирит, сфалерит — пирротин) — изучение движения световой полосы по границе между этими минералами. Световая полоска при поднятии тубуса микроскопа передвигается с более твердого минерала на более мягкий.

Появление пограничной световой полосы обусловлено полировкой шлифа. Мягкие минералы стачиваются быстрее, чем твердые, поэтому последние наблюдаются в шлифе в виде выступов с закругленными полировкой краями, образующими наклонную поверхность по границе срастания двух минералов. Падающие на шлиф вертикальные лучи света отражаются от горизонтальной плоскости вертикально, при отражении от наклонной поверхности, окаймляющей более твердый минерал, отклоняются от вертикали на угол тем больший, чем круче наклон, этой поверхности. Эти наклонно отраженные лучи в сочетании с лучами, вертикально отраженными, образуют световую полоску на внешней границе двух минералов. Световая полоска еще резче подчеркивается темной полоской, отвечающей внутренней границе выступающего более твердого минерала. Описываемый способ определения

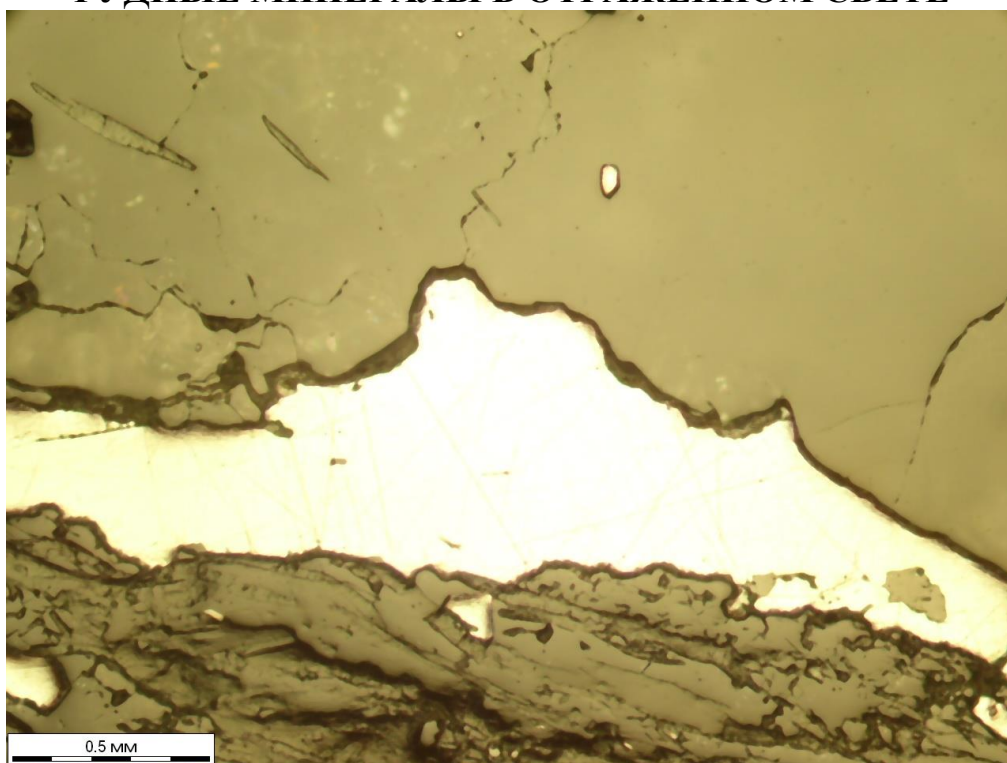
твердости незаменим для зерен малых размеров, если они заключены в массе минералов, твердость которых известна.

Способность минерала воспринимать полировку, а также характер его поверхности в полированных шлифах часто значительно помогают при определении его относительной твердости и могут быть использованы в качестве дополнительного диагностического признака. Например, галенит легко узнается в шлифе по треугольным углублениям, представляющим выкрошившиеся во время полировки участки минерала по плоскостям его совершенной кубической спайности. Пирит среди других близких по твердости минералов узнается по грубой шероховатой поверхности. Арсенопирит, имеющий одинаковую твердость с пиритом, при тех же условиях полировки обладает совершенно гладкой поверхностью.

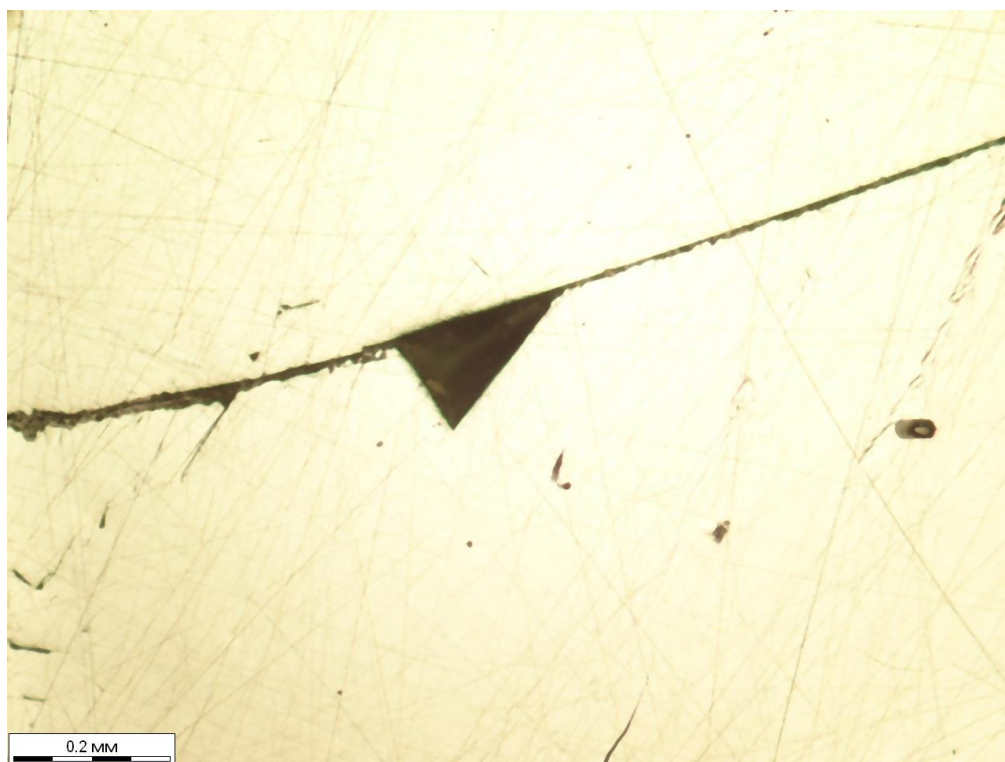
Новым методом определения твердости, применяемым при изучении полированных шлифов, является метод вдавливания. С его помощью твердость минералов определяется на основании глубины, формы и размеров лунки, полученной путем вдавливания в полированную поверхность полированного минерала.

Для определения твердости полированной поверхности минералов и сплавов в полированных шлифах методом вдавливания М.М. Хрущевым и Е.С. Берковичем (1943) были сконструированы специальные приборы.

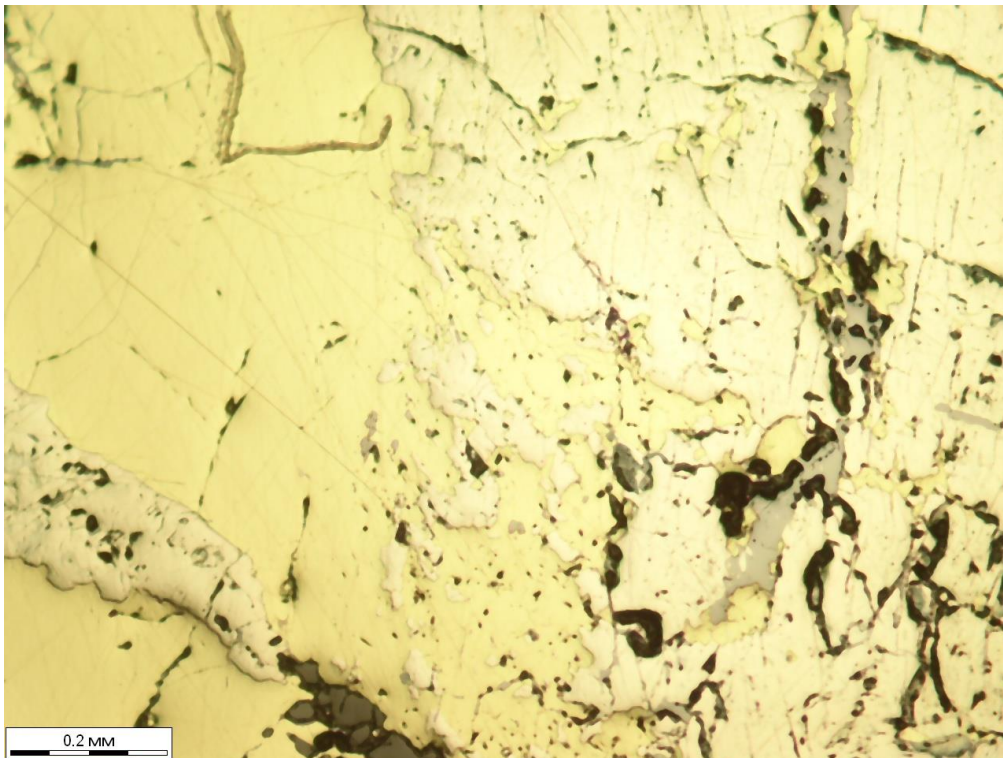
РУДНЫЕ МИНЕРАЛЫ В ОТРАЖЕННОМ СВЕТЕ



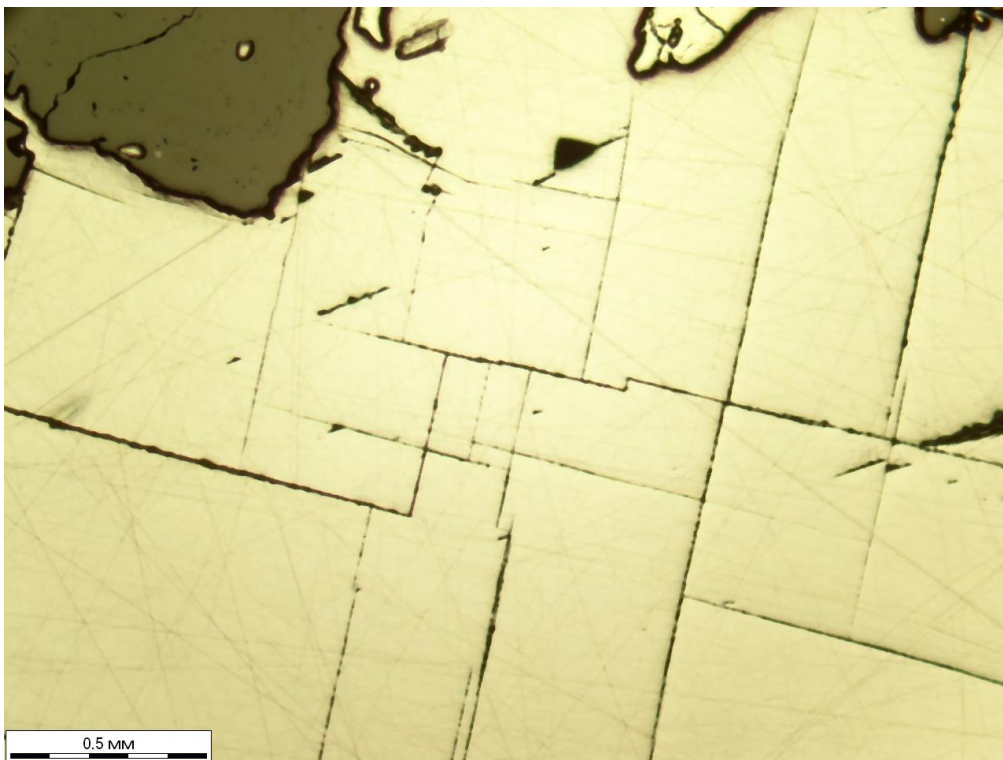
Прожилок галенита в окварцованной породе. По краям прожилка четко виден рельеф



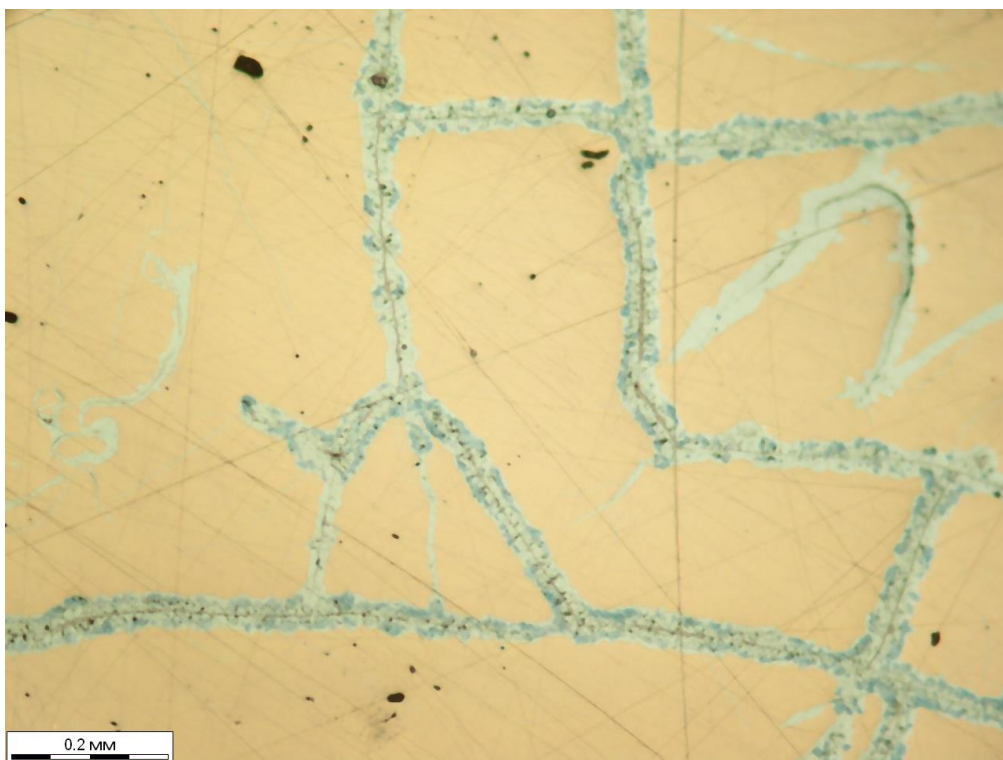
Царапина в аншлифе и треугольник выкрашивания в галените



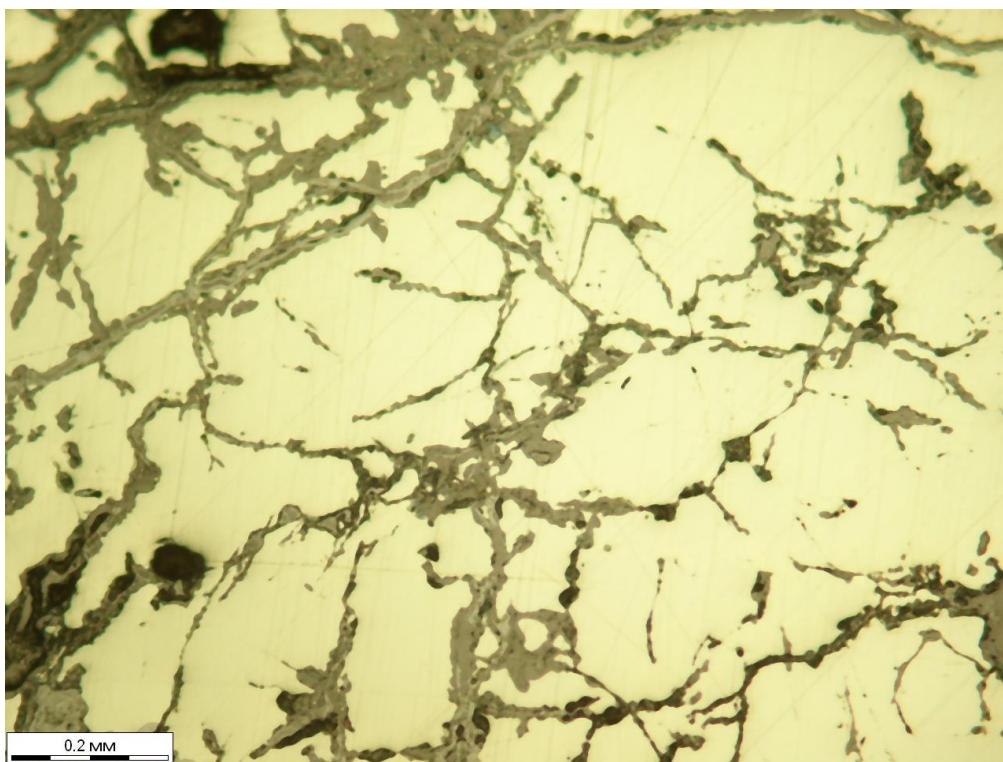
Замещение агрегата шмальтина халькопиритом



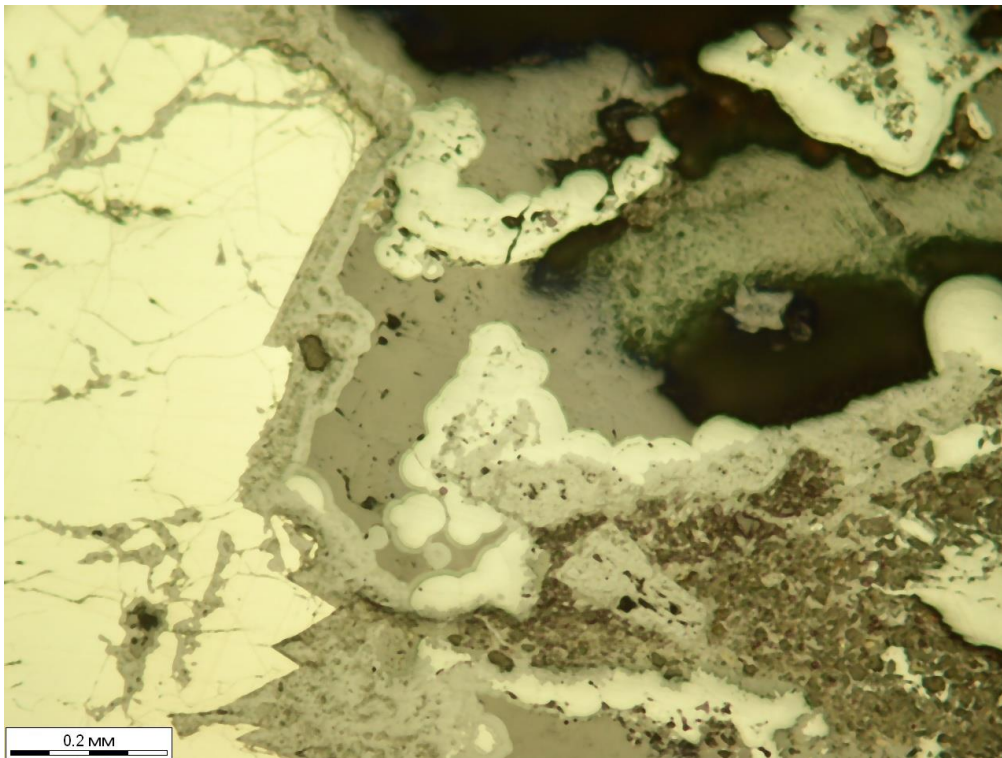
Трещиноватость по кубу в галените



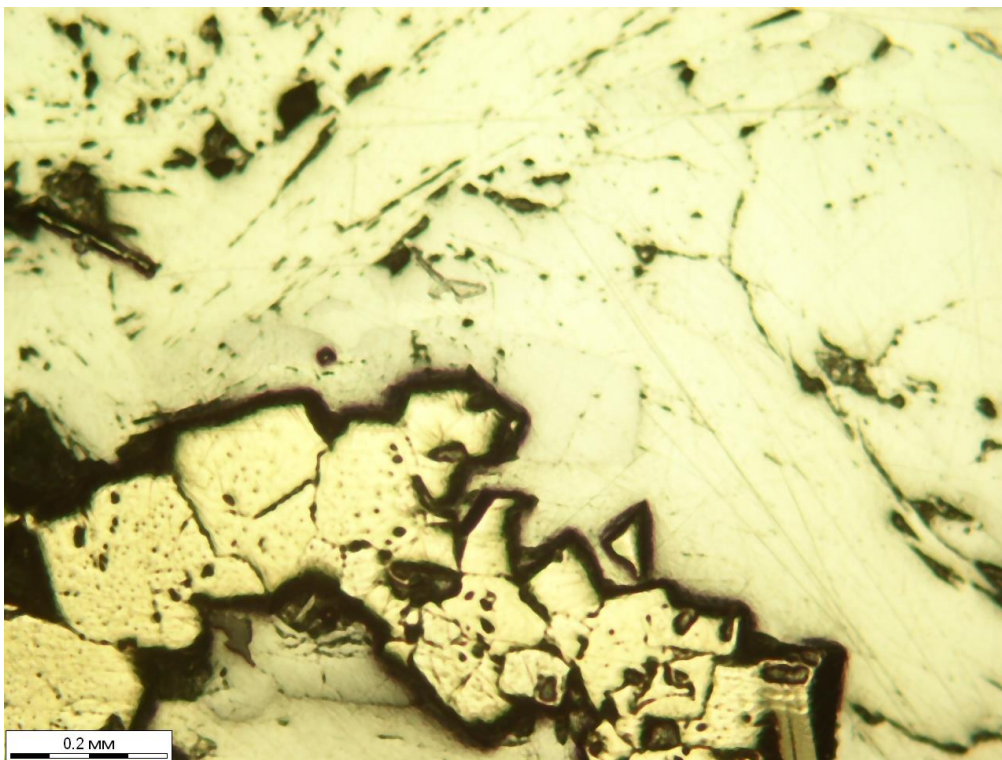
Борнит с прожилками халькозина



Ветвистая трещиноватость в манганите



Микроглобули в манганите



Шмальтин с пиритом. Вокруг зерен пирита четко видна черная каемка, подчеркивающая его рельеф

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волынский, И.С. Определение рудных минералов под микроскопом. Том 1. / И.С. Волынский // М.: Недра, 1966. – 349 с.
2. Юшко, С.А. Методы лабораторного исследования руд / С.А. Юшко // М.: Недра, 1966. – 320 с.
3. Рамдор, П. Рудные минералы и их срастания / П. Рамдор // М.: Изд-во иностранной литературы, 1962. – 1132 с.
4. Крейг, Дж. Рудная микроскопия и рудная петрография / Дж. Крейг, Д. Воган // М.: Мир, 1983. – 423 с.
5. Исаенко, М.П. Лабораторные методы исследования руд / М.П. Исаенко, Е.Л. Афанасьева // М.: Недра, 1992. – 254 с.

Учебное издание

Изотов Виктор Геннадьевич

**Методы исследования руд. Часть 2. Определение рудных минералов под
микроскопом**

Подписано в печать

Тираж 50 экз. Заказ

Отпечатано с готового оригинал-макета
в типографии «Татнефтехиминвест-холдинга»